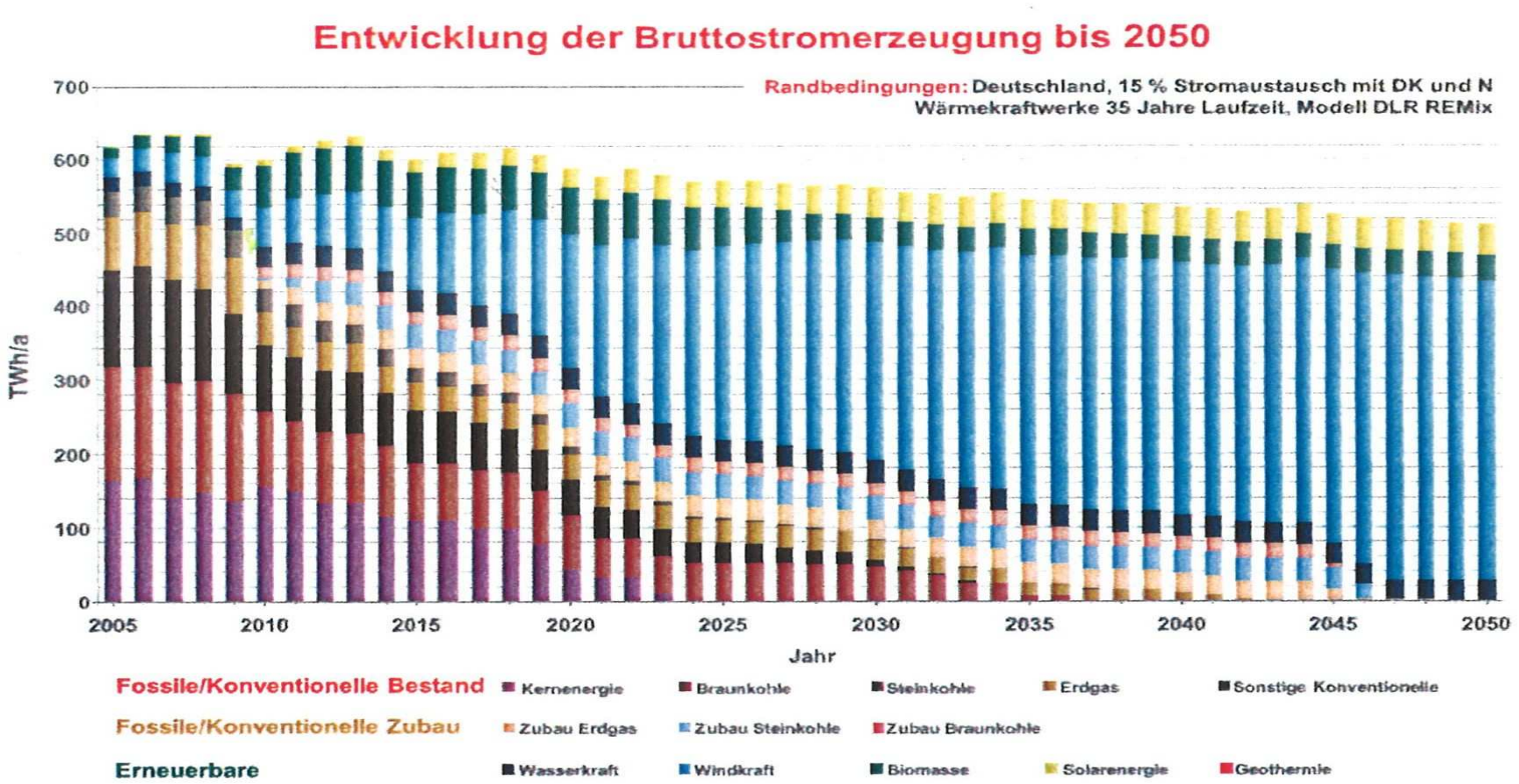
Stadtwerke Gießen

SWG

Speicher für die Energiewende



Entwicklung der Bruttostromerzeugung nach dem Szenario 2.1a aus dem Sondergutachten des SRU [SRU 2011]

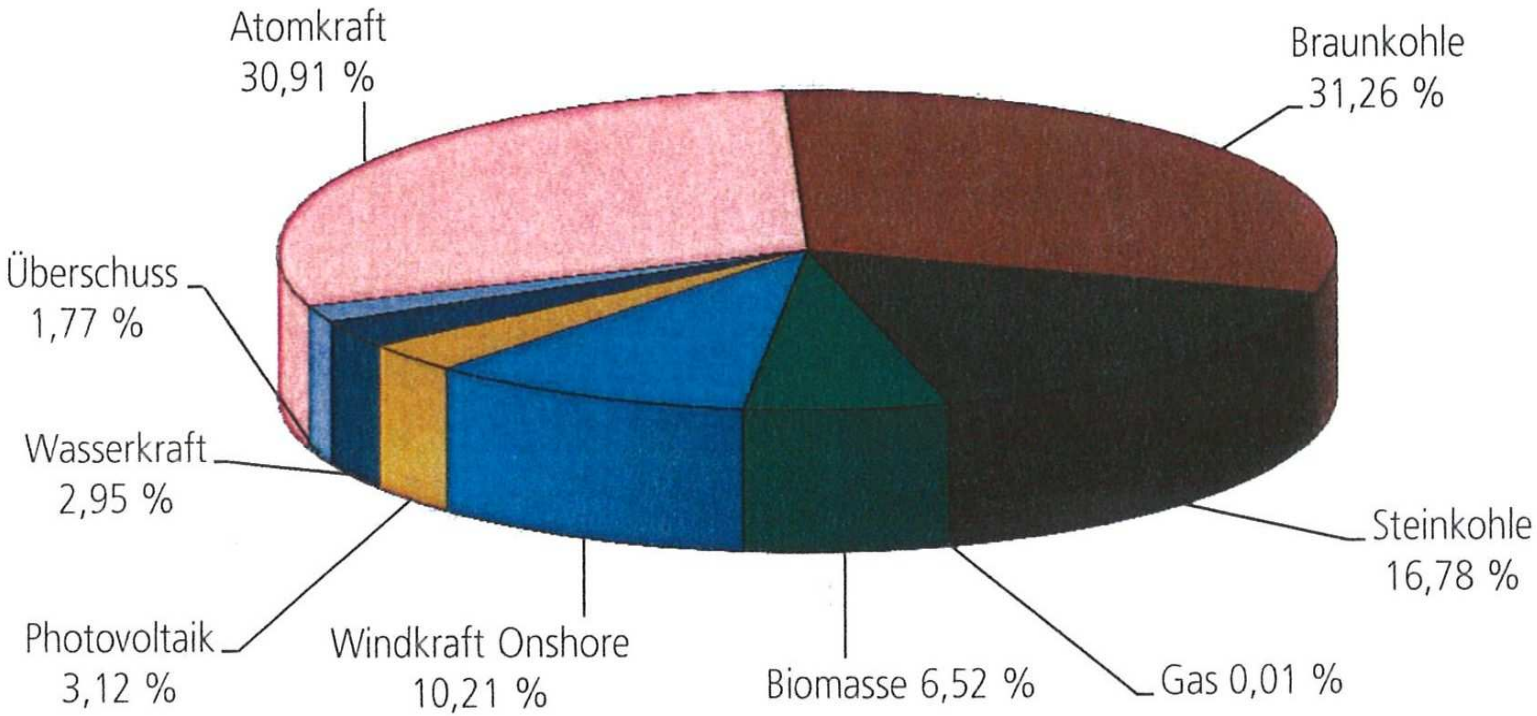
Stadtwerke Gießen

SWG

Bruttostromerzeugungskapazität (in GW)

Energieträger	2000	2009	2010	2011	Veränderung 2000-2011 in %
Steinkohlen	32,3	29,0	30,2	30,2	-6,5
Braunkohlen	21,8	22,4	22,7	24,9	+14,2
Heizöl	7,5	5,2	5,9	6,4	-14,7
Gase	22,3	23,1	23,8	23,9	+7,2
Kernenergie	23,6	21,5	21,5	12,7	-46,2
Wasser	9,0	10,3	10,4	10,6	+17,8
Wind	6,1	25,8	27,2	29,1	+377,0
Photovoltaik	0,076	9,9	17,3	25,0	+32800,0
Biomasse	0,5	4,3	4,8	5,3	+960,0
Sonstige	2,1	5,7	6,2	6,4	+207,1
Insgesamt	125,2	157,4	170,2	174,4	+39,3

Die installierte Leistung im Bahnstromnetz beträgt 3,2 GW.



Stromproduktion in Deutschland 2011 [BBE 2011, Bundesnetzagentur 2011, Netzbetreiber]

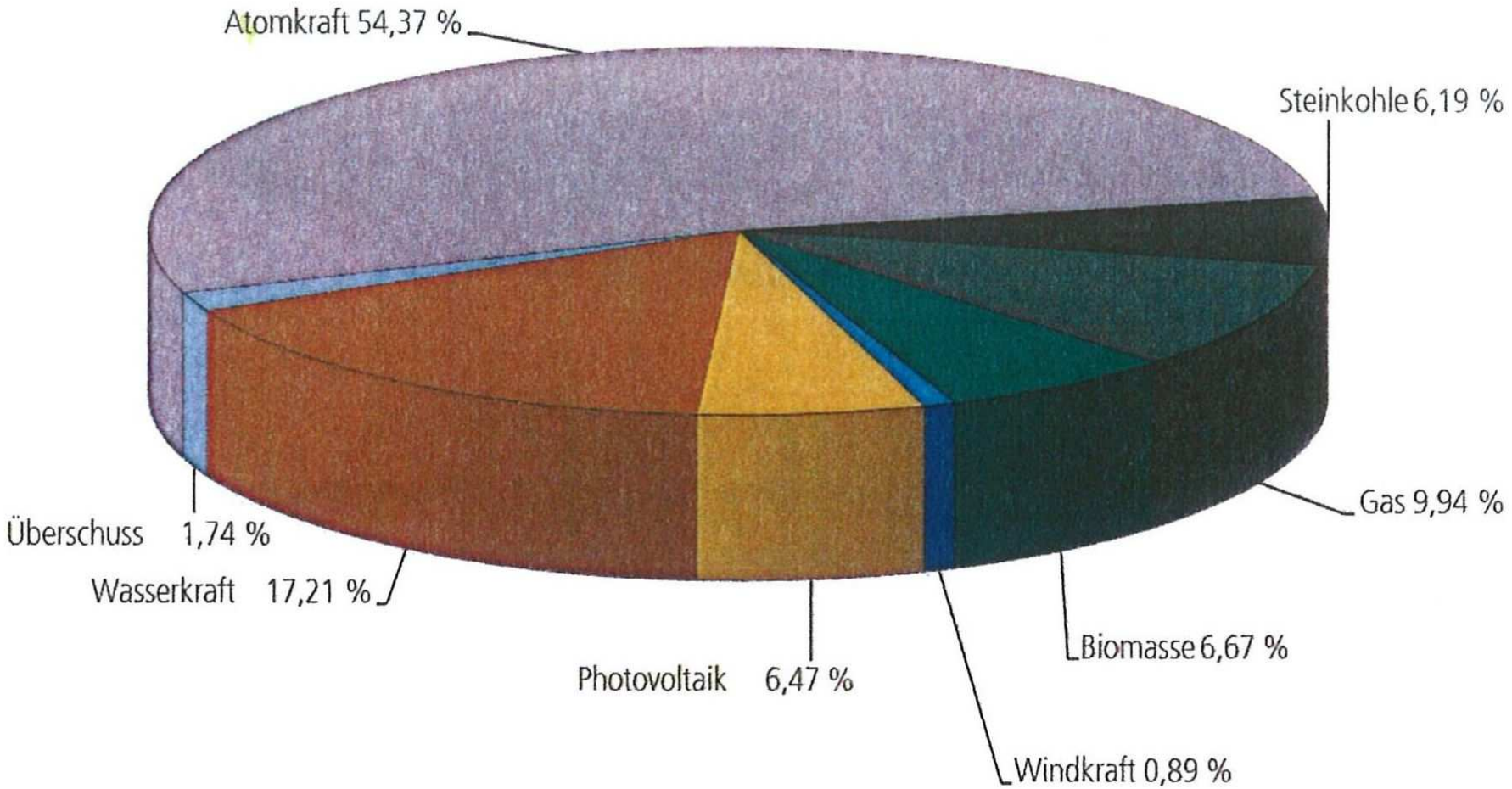
Stadtwerke Gießen SWG

Kraftwerkskapazitäten Bayern 2011 [Energiekonzept 2011]

Kraftwerksart	**[GW]**
Atomkraft	6,43
Steinkohle	0,837
Gas	5,227
Biomasse	0,69
Wasserkraft	1,883
Photovoltaik	6,334
Windkraft	0,52
Summe	**21,92**

Stadtwerke Gießen

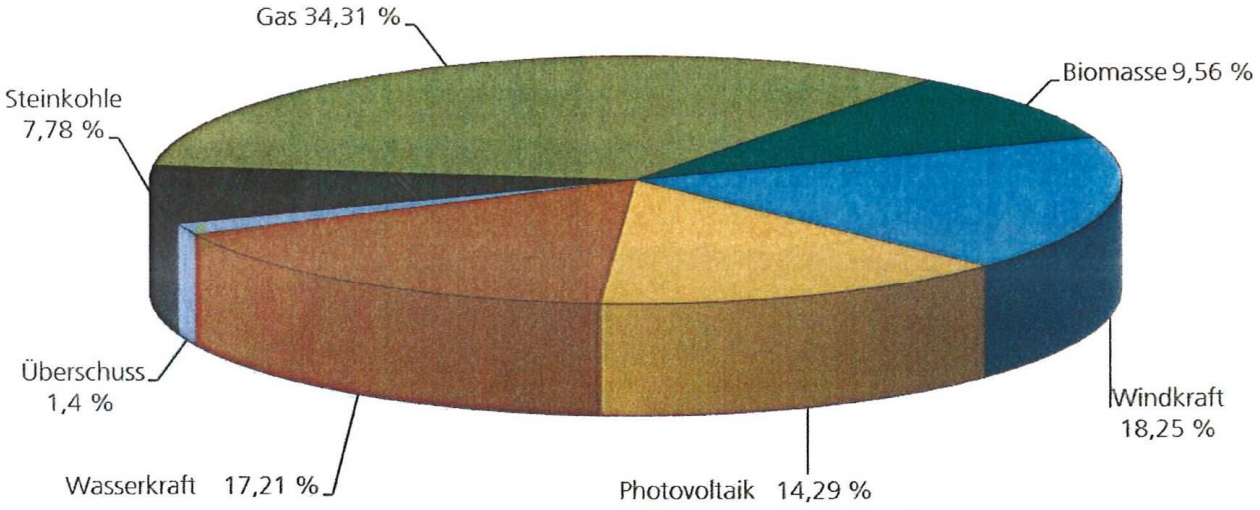
SWG



Stromproduktion in Bayern 2011 [eigene Darstellung nach Energiekonzept 2011]

Kraftwerkskapazitäten Bayern 2023 [Energiekonzept 2011]

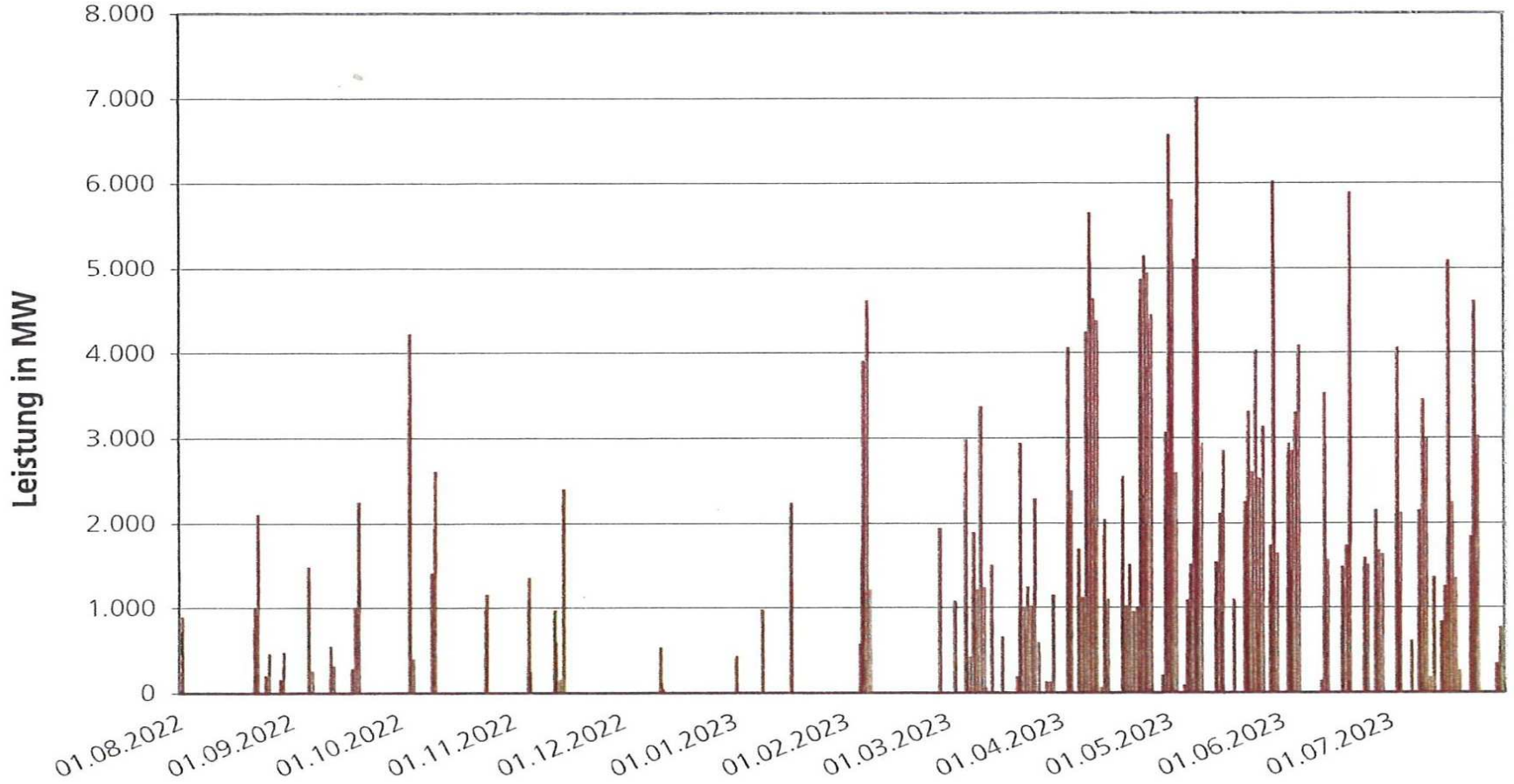
Kraftwerksart	**[GW]**
Atomkraft	0
Steinkohle	0,837
Gas	9,227
Biomasse	0,99
Wasserkraft	1,883
Photovoltaik	14
Windkraft	8,5
Summe	**35,45**



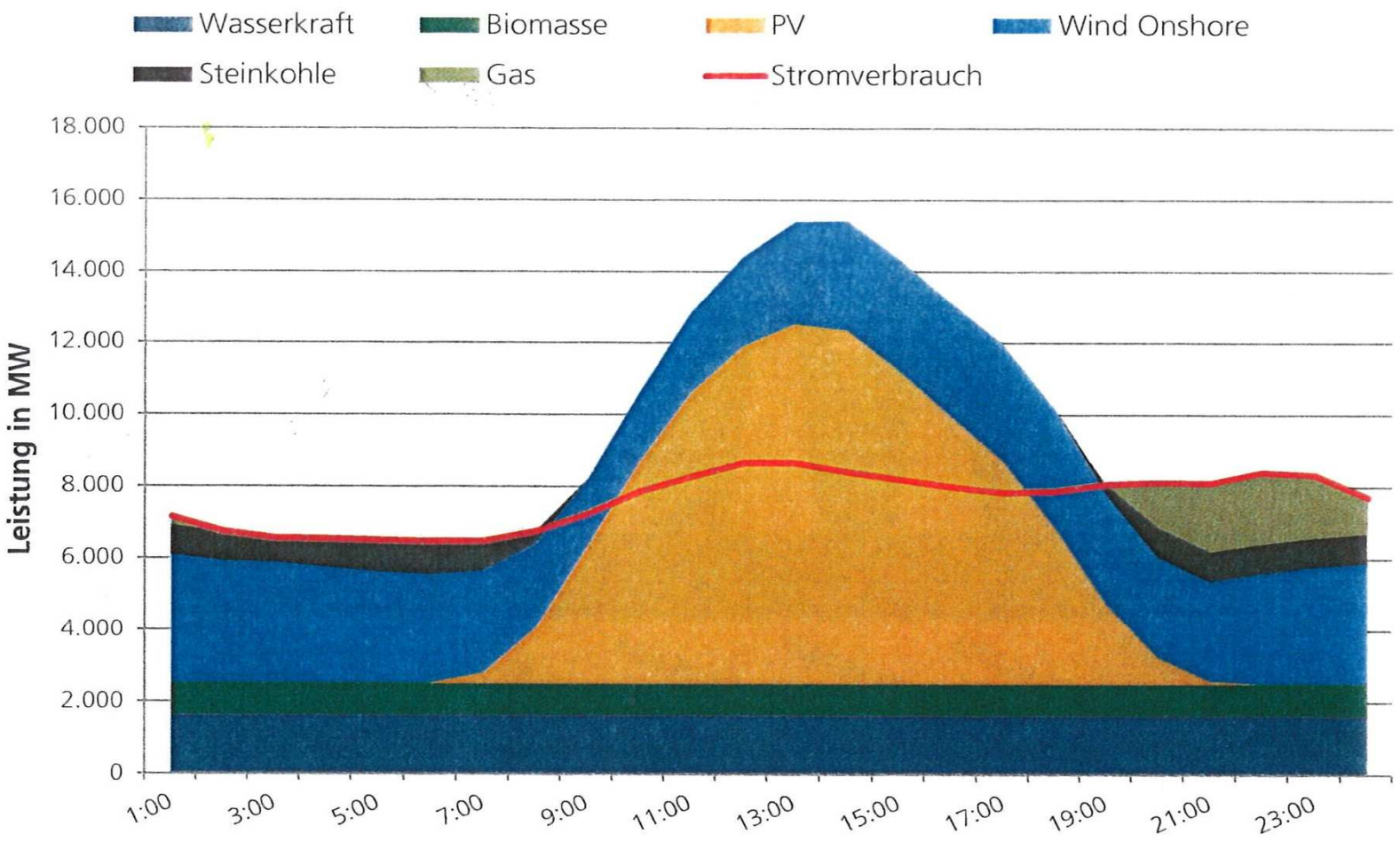
Stromproduktion in Bayern 2023 [eigene Darstellung nach Energiekonzept 2011]

Stadtwerke Gießen

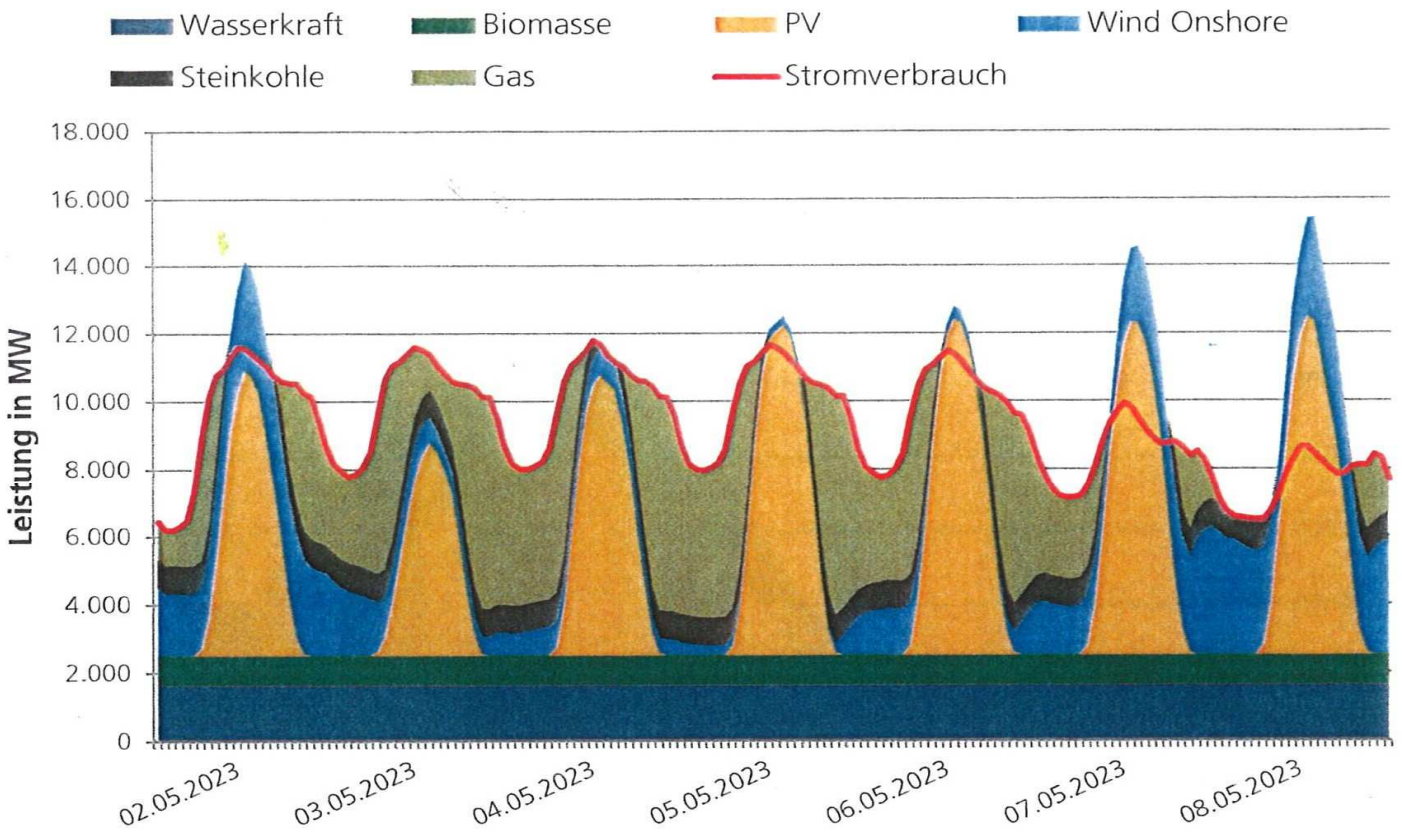
SWG



Zeitlicher Verlauf der Überschussleistung in Bayern 2023



Stromproduktion und -verbrauch während eines Maitages in Bayern 2023 [eigene Berechnung nach Energiekonzept 2011, ENTSOE 2011]



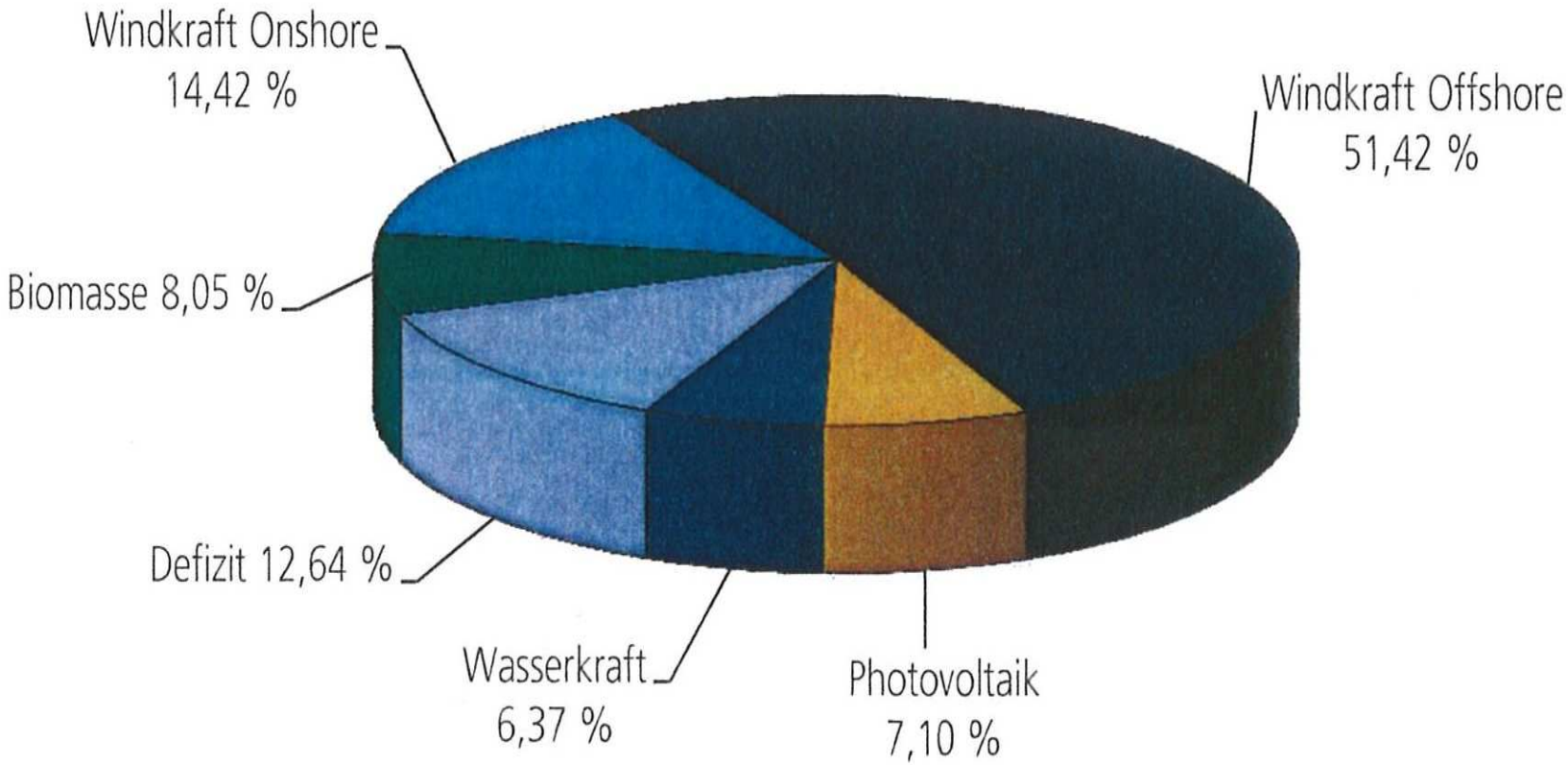
Stromproduktion und -verbrauch während einer Maiwoche in Bayern 2023 [eigene Berechnung nach Energiekonzept 2011, ENTSOE 2011]

Stadtwerke Gießen

SWG

Kraftwerkskapazitäten Deutschland 2050 [SRU 2011]

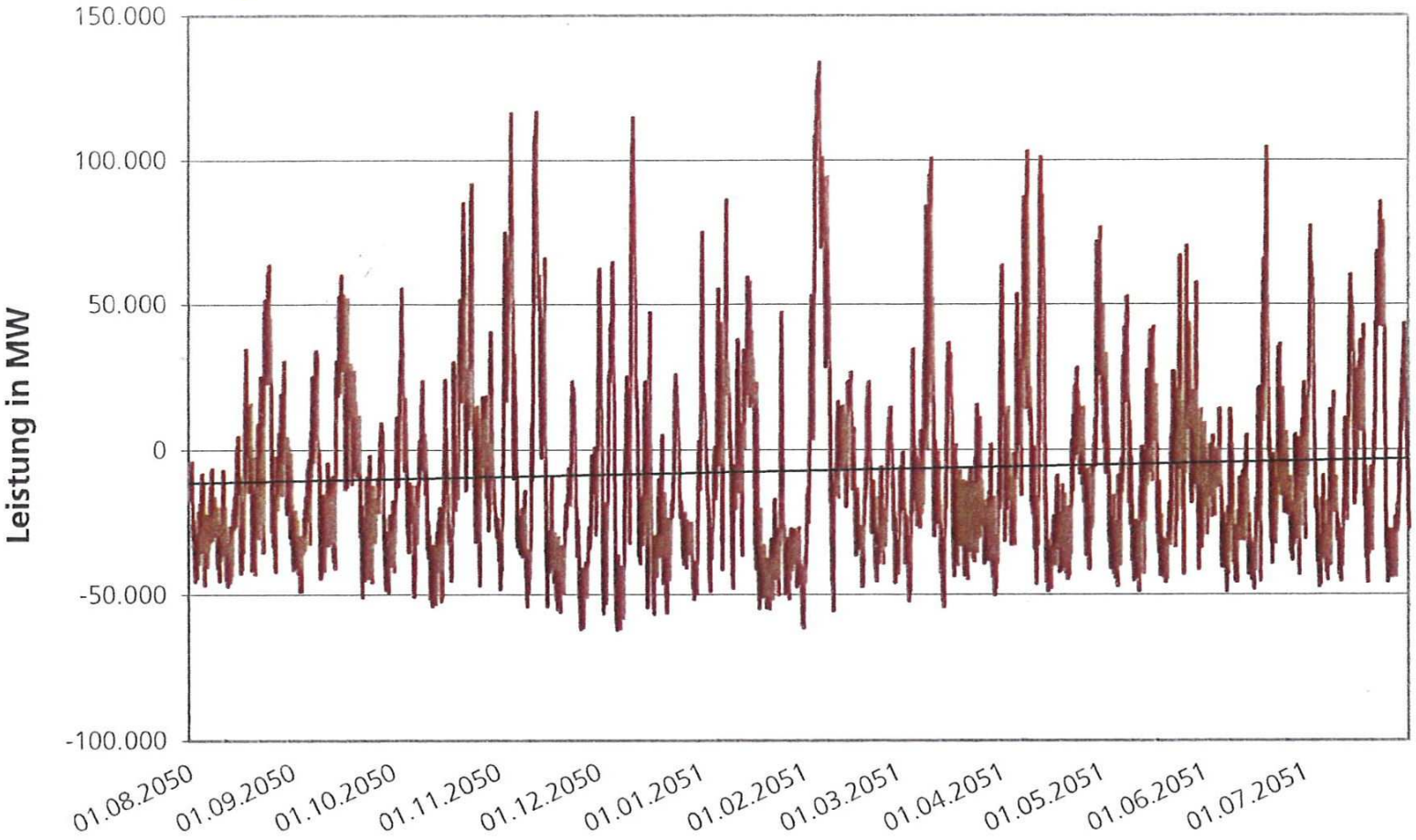
Kraftwerksart	**[GW]**
Biomasse	4,9
Wasserkraft	4,1
Photovoltaik	40,9
Windkraft Onshore	39,5
Windkraft Offshore	73,2
Summe	**162,6**



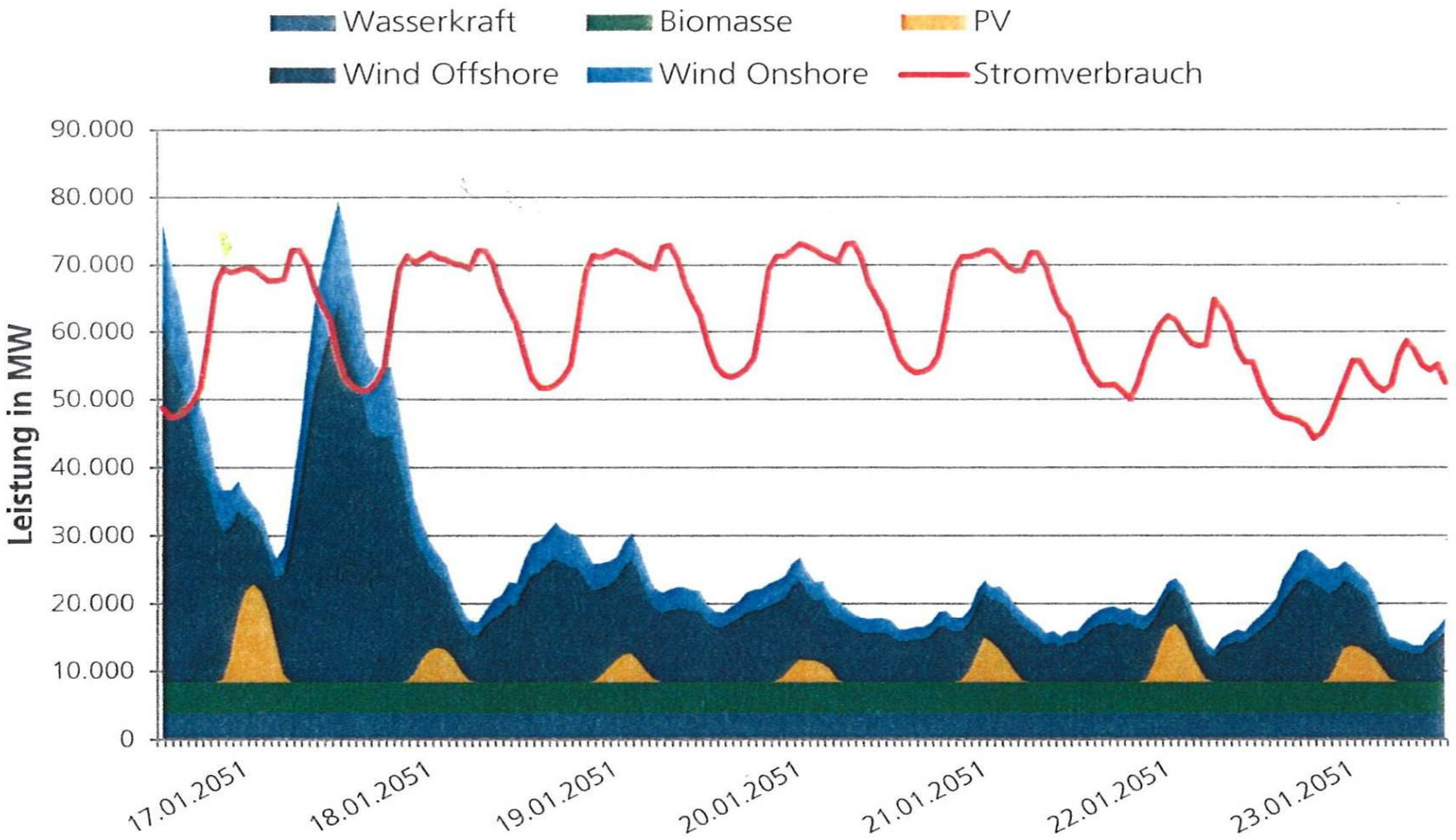
Stromproduktion in Deutschland 2050 mit Kraftwerksleistungen nach SRU 2.1 a

Stadtwerke Gießen

SWG



zeitlicher Verlauf der Überschussleistung in Deutschland 2050 nach SRU 2.1 a

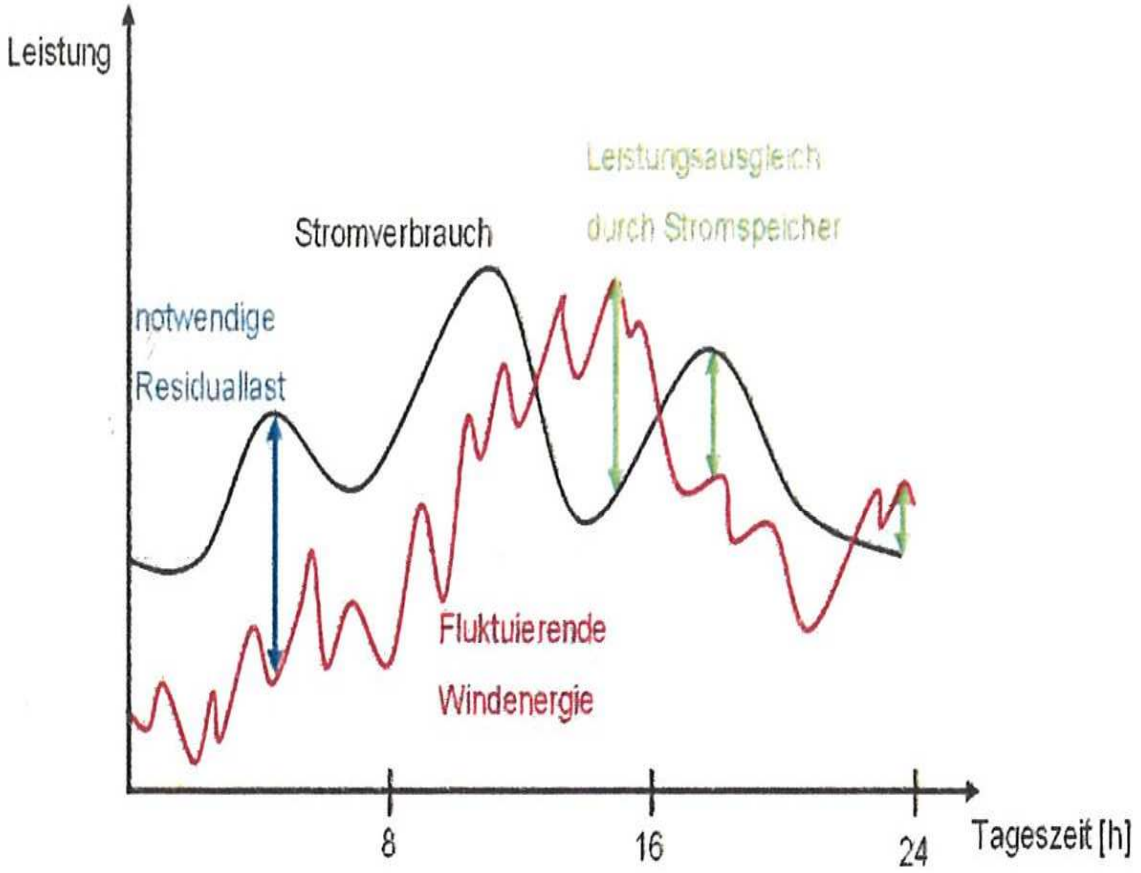


Stromproduktion und -verbrauch während einer Januarwoche in Deutschland 2051 [eigene Berechnung]

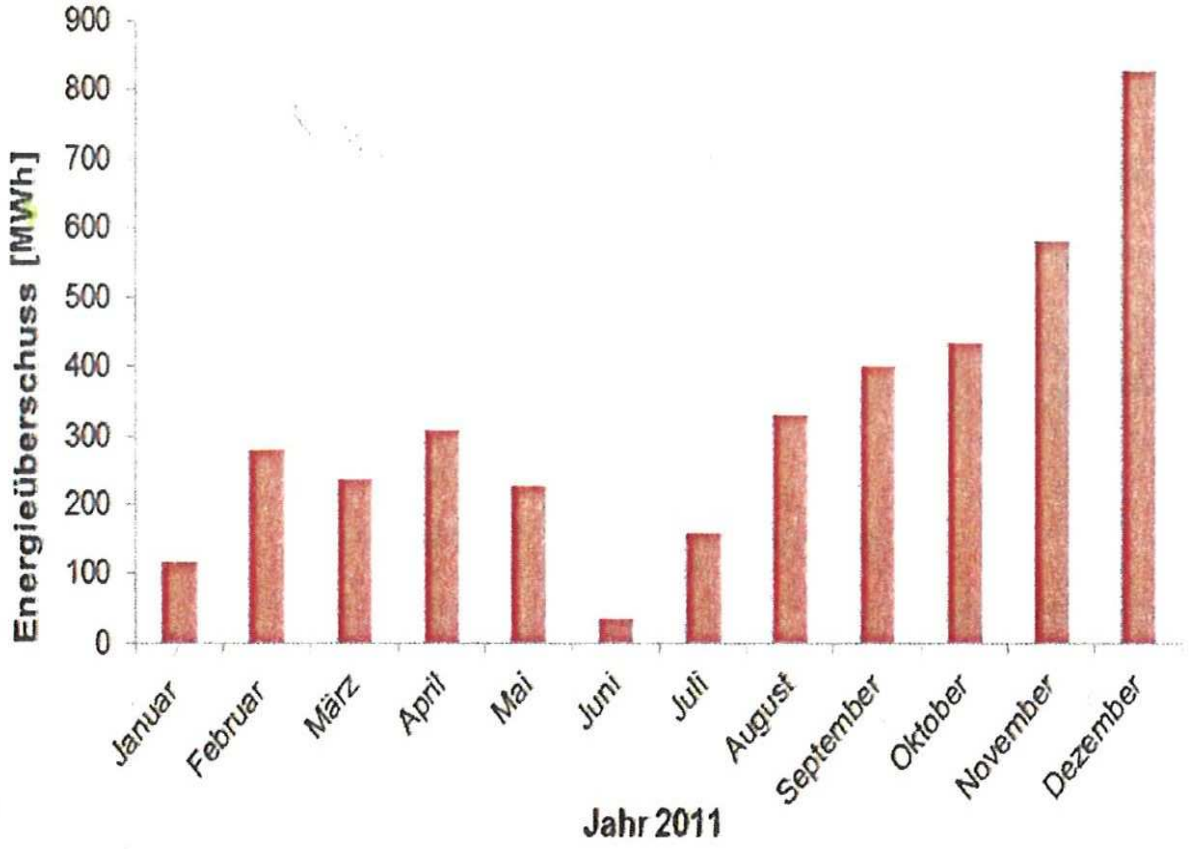
Stadtwerke Gießen

SWG

Der analysierte Windpark



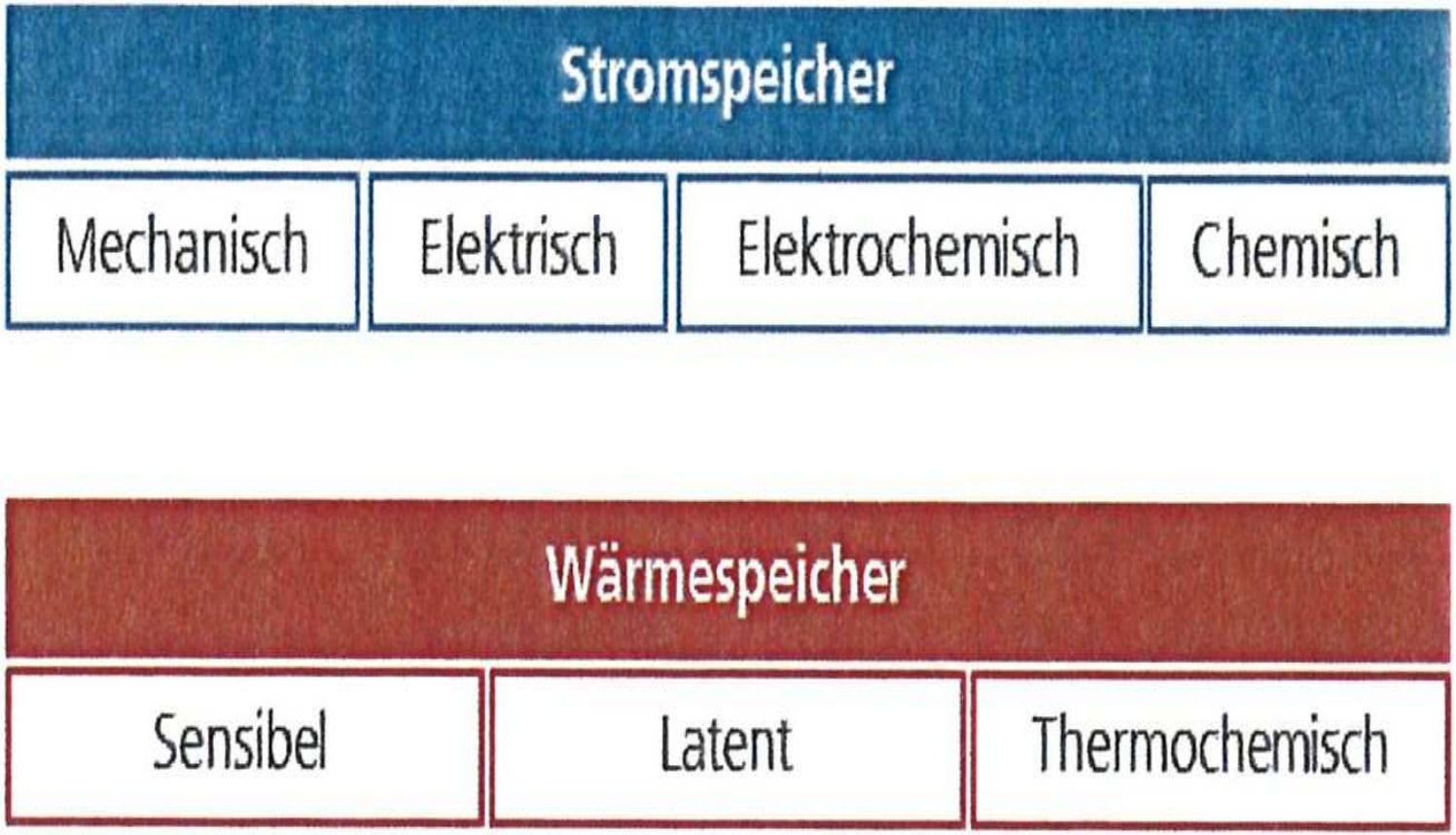
Tagesganglinie mit Leistungsausgleich durch Stromspeicher



Energieüberschuss eines Windparks 2011

Stadtwerke Gießen

SWG



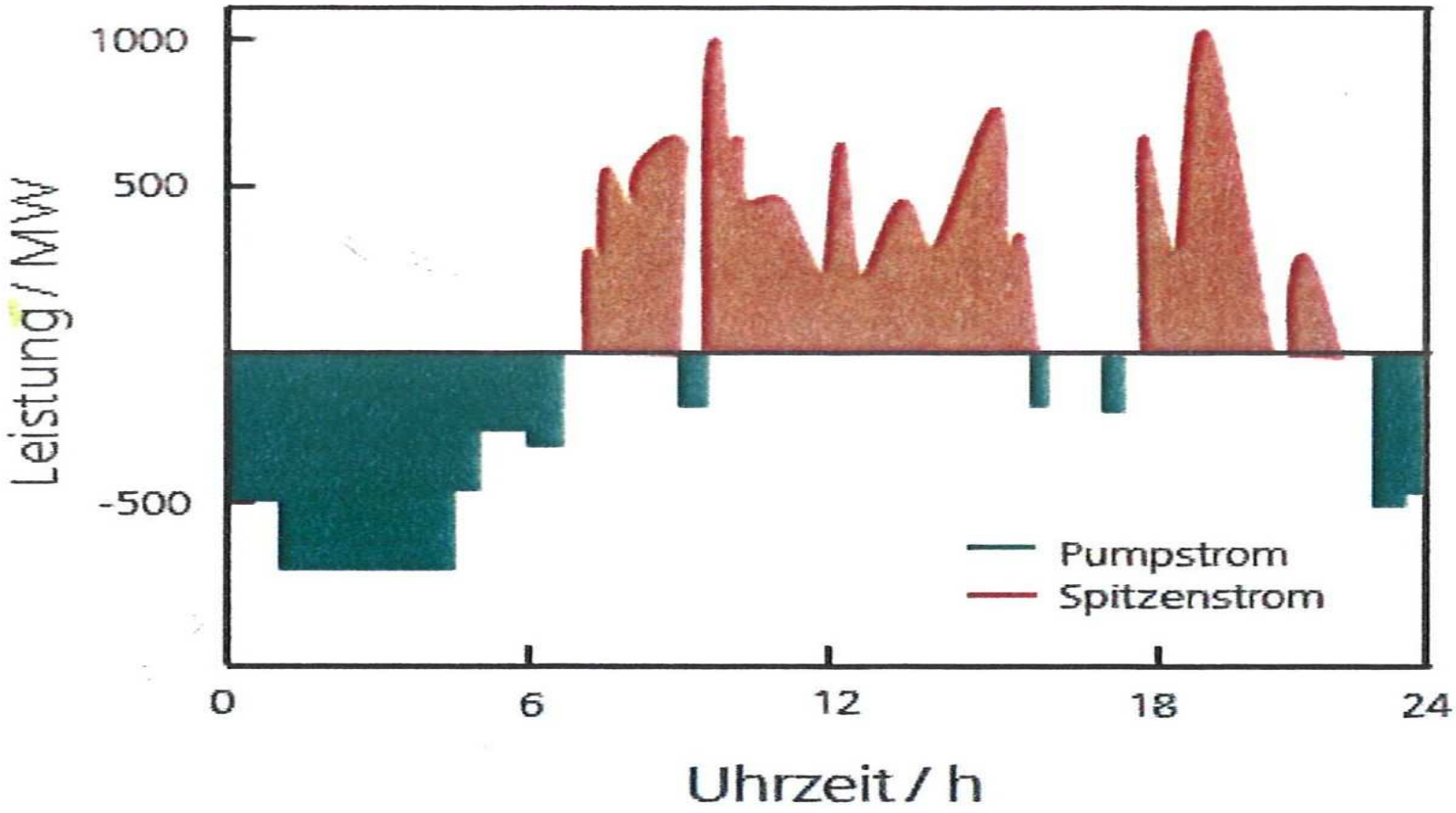
Schematische Einteilung existierender Speichertechnologien

Stadtwerke Gießen

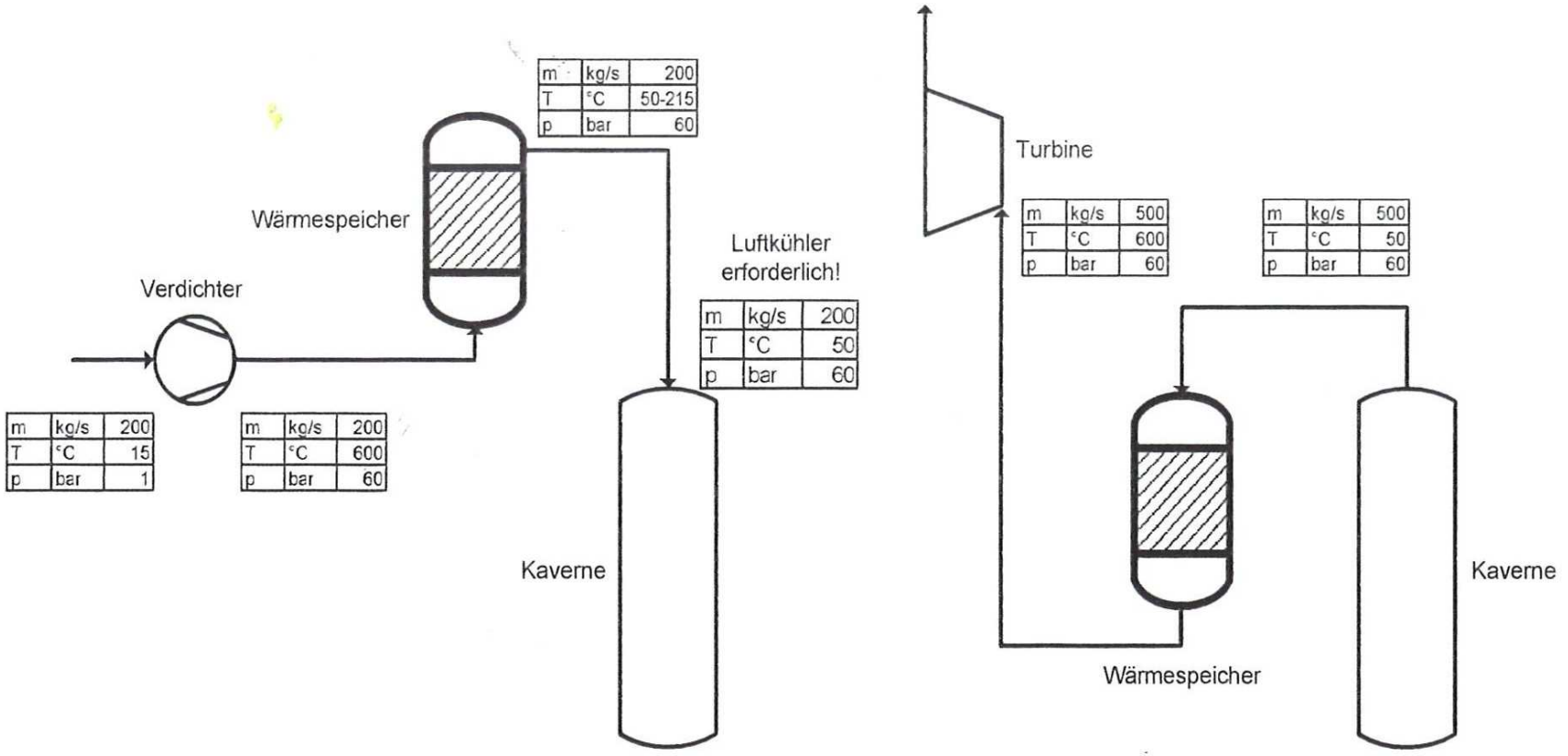
SWG

Einteilung Stromspeichertechnologien nach Leistungsbereich im Stromnetz [INT 2009]

+ = geeignet - = ungeeignet	Sekunden-reserve	USV	Tageslast-ausgleich	Wochen-/ Jahreslast-ausgleich
Elektrochemische Kondensatoren	+	+	-	-
Supraleitende Magnetische Energiespeicher (SMES)	+	+	-	-
Schwungräder	+	+	-	-
Akkumulatoren	-	+	+	-
Wasserstoff (theoretisch)	-	-	+	+
(adiabate) Druckluftspeicher	-	-	+	+
Pumpspeicherkraftwerke	-	-	+	+



Exemplarischer Tagesleistungsverlauf eines PSW [Radgen 2007]

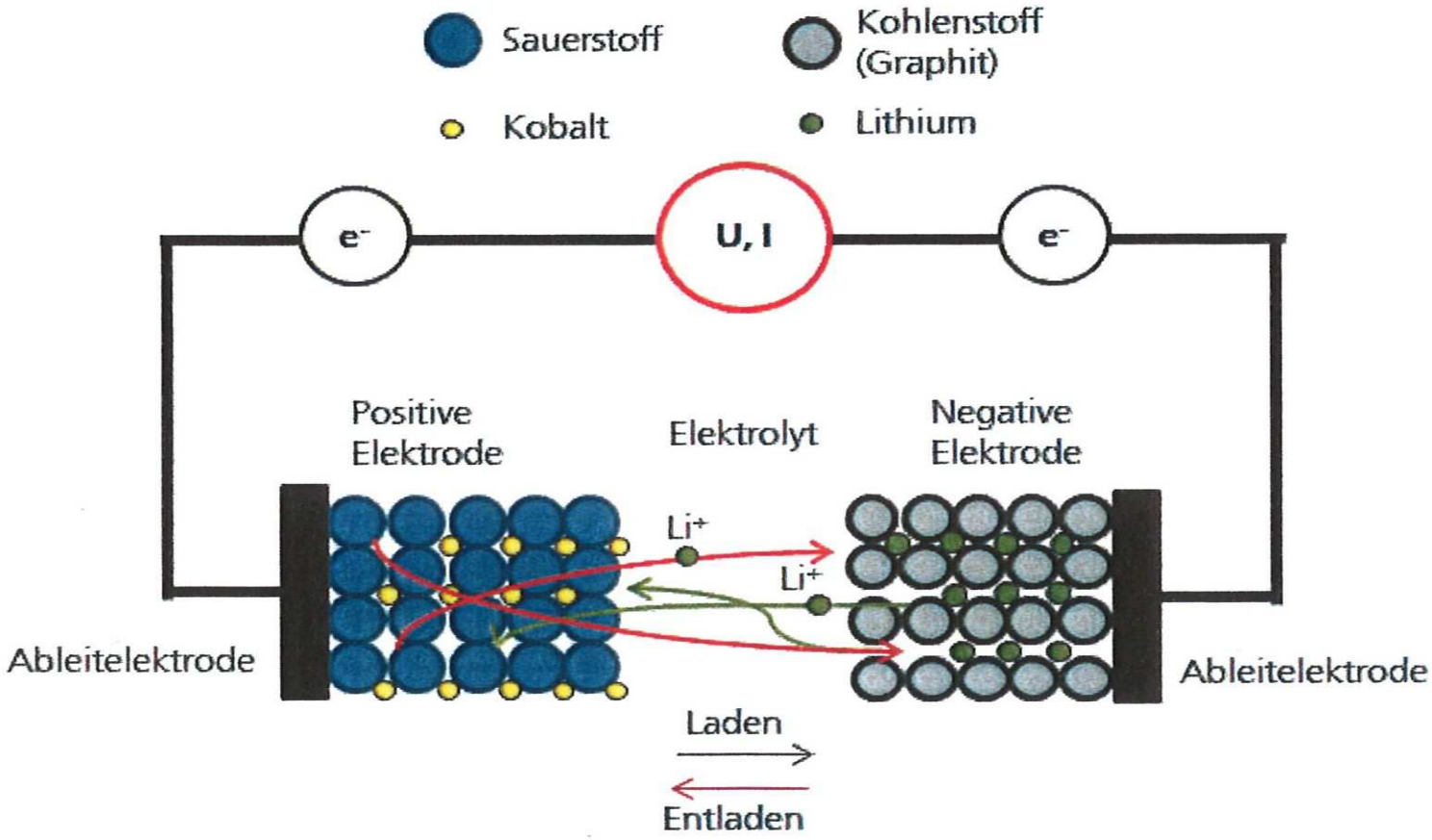


Schema adiabates Druckluftspeicherkraftwerk mit Be- (links) und Entladung (rechts)

Stadtwerke Gießen

SWG

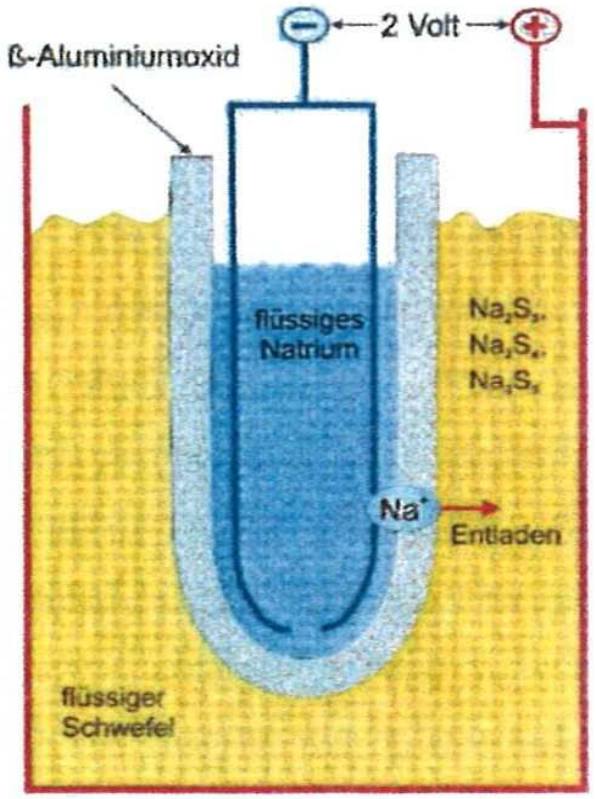
Gruppierung der Kondensatoren anhand des Wirkprinzips nach [Hadjipaschalis 2008]



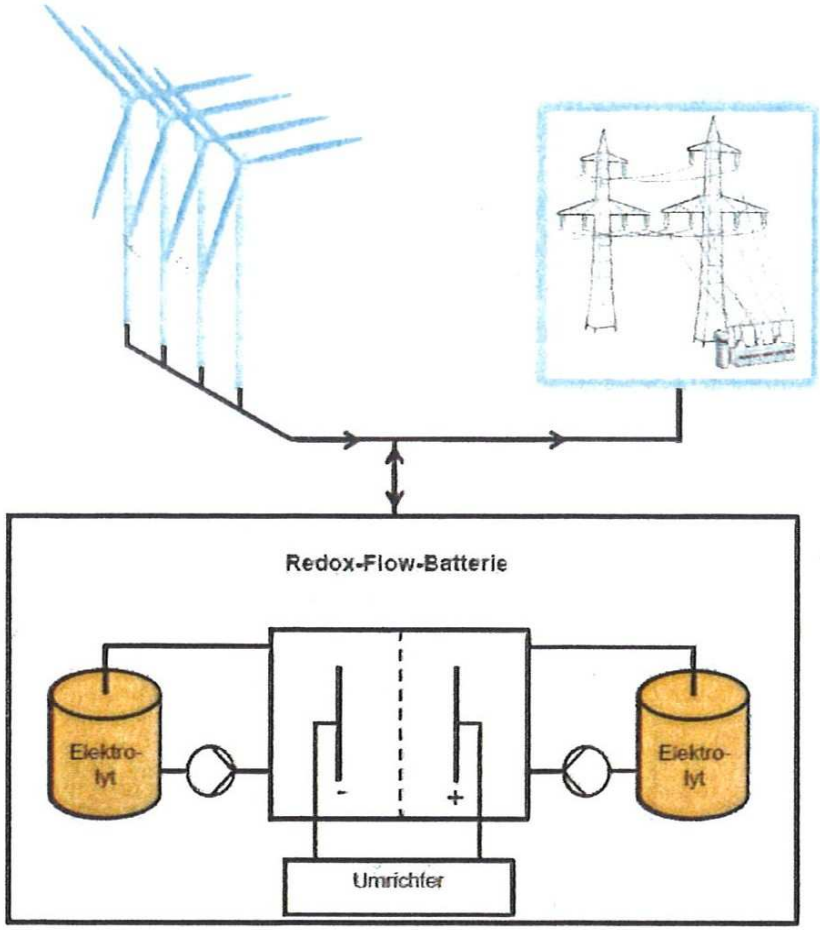
Prinzip des Lithium-Ionen Akkumulators nach [TiB Neumann 2008]

Speicher im Seecontainer: Das System LESSY hat mit 4.700 Lithium-Ionen-Batteriezellen eine Speicherkapazität von 700

$$2Na + 2S \leftrightarrow 2Na_2S_3 + \text{elektrische Energie}$$



Schema einer NaS-Batterie [INT 2009]



Windpark in Kombination mit einer Redox-Flow-Batterie

Stadtwerke Gießen

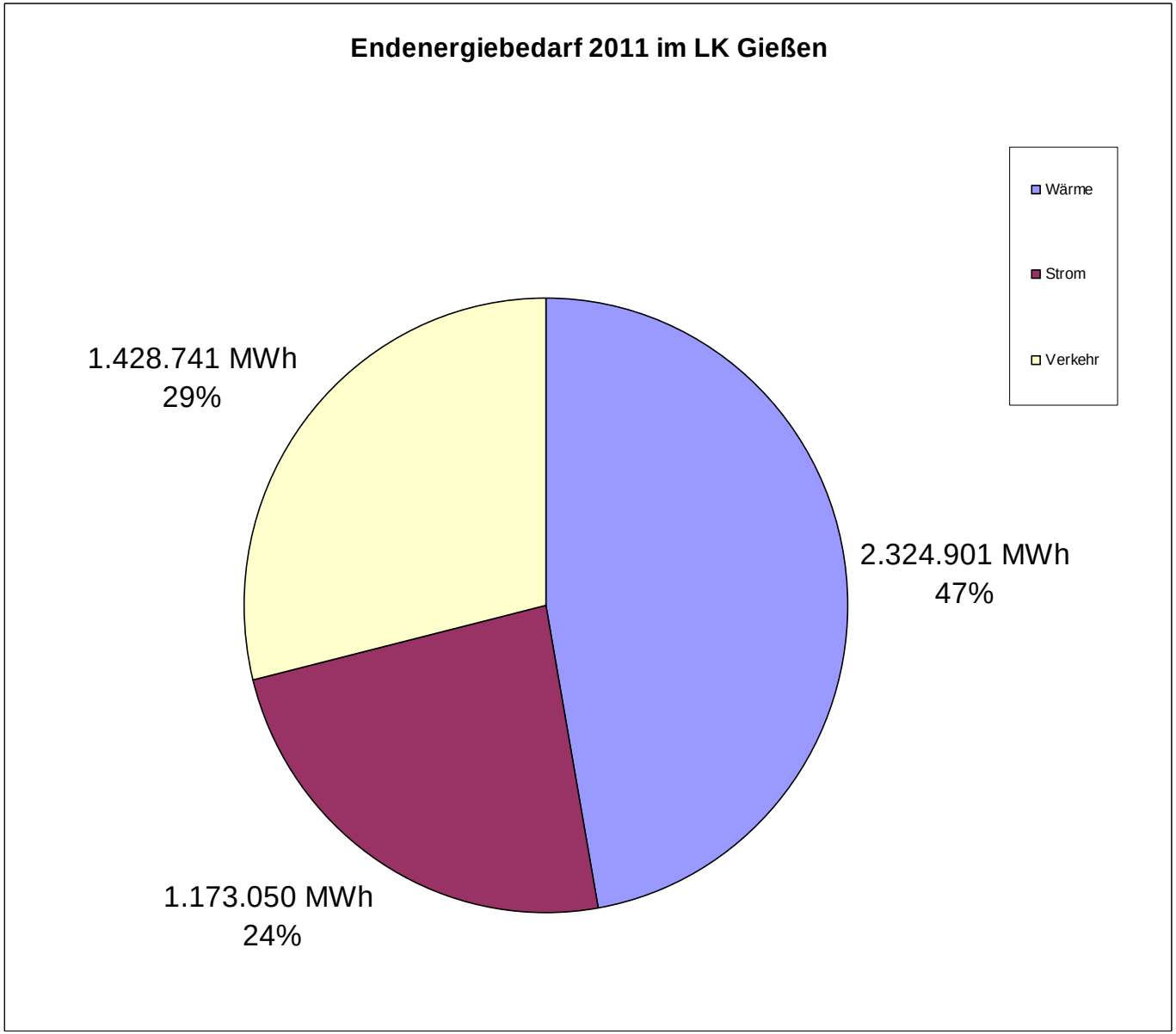
SWG

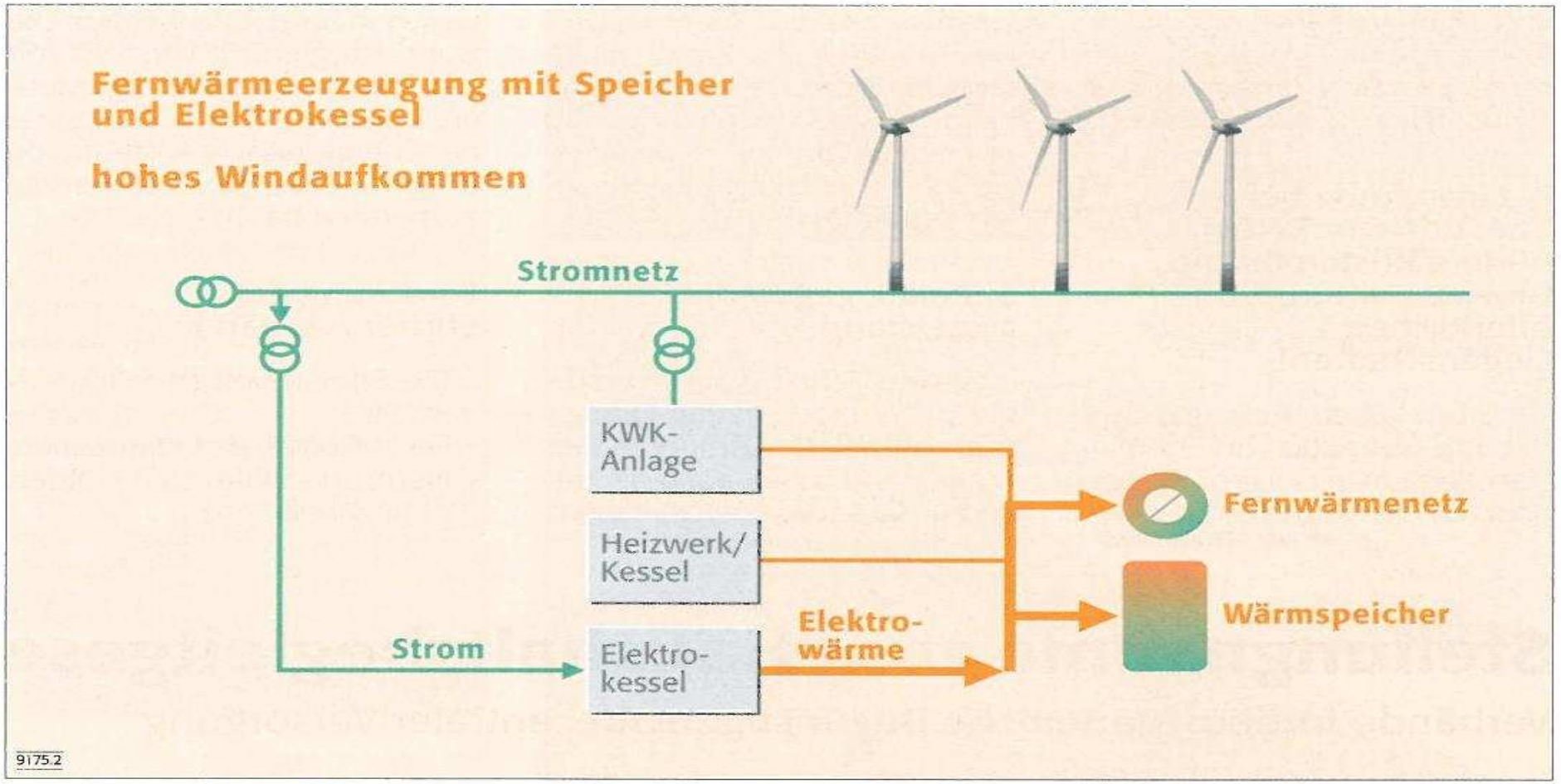
Technische Parameter verschiedener Akkutypen. [INT 2009]

	η bzw. Ladefaktor [%]	Energiedichte [Wh/kg]	Zyklenzahl [n]	Selbstentladung [% pro Monat]
Bleisäure	80-90	20-50	200-2.000	5
Ni-Cd	57-70	25-80	1.000-4.000	5-20
Ni-MH	70	55-120	300-800	30
Li-Ion	90-95	90-160	300-1.200	5-10
Li-Ion-Polymer		100-144	300-1.000	2-10
NaS	85	130	1.000-2.500	+
VRB	72	15-25	>10.000	++

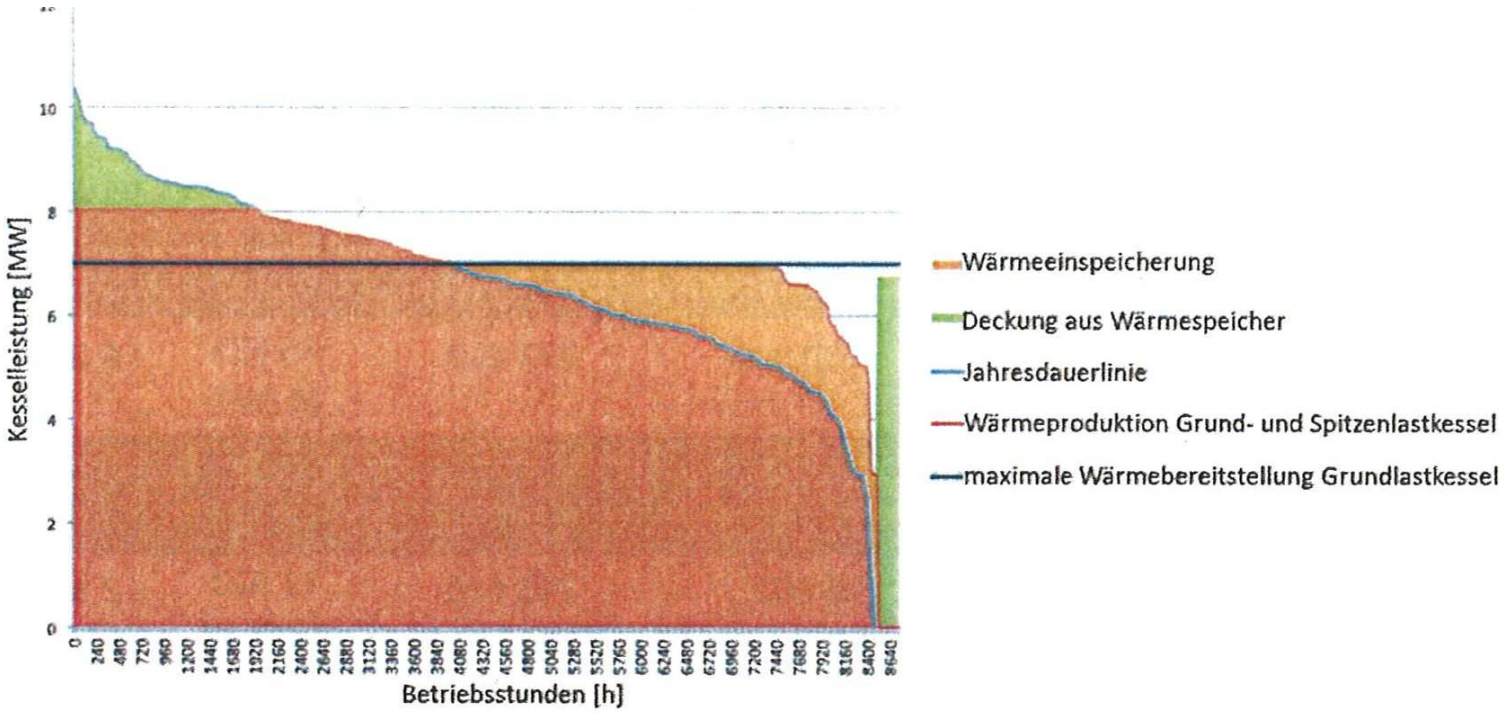
Stadtwerke Gießen

SWG





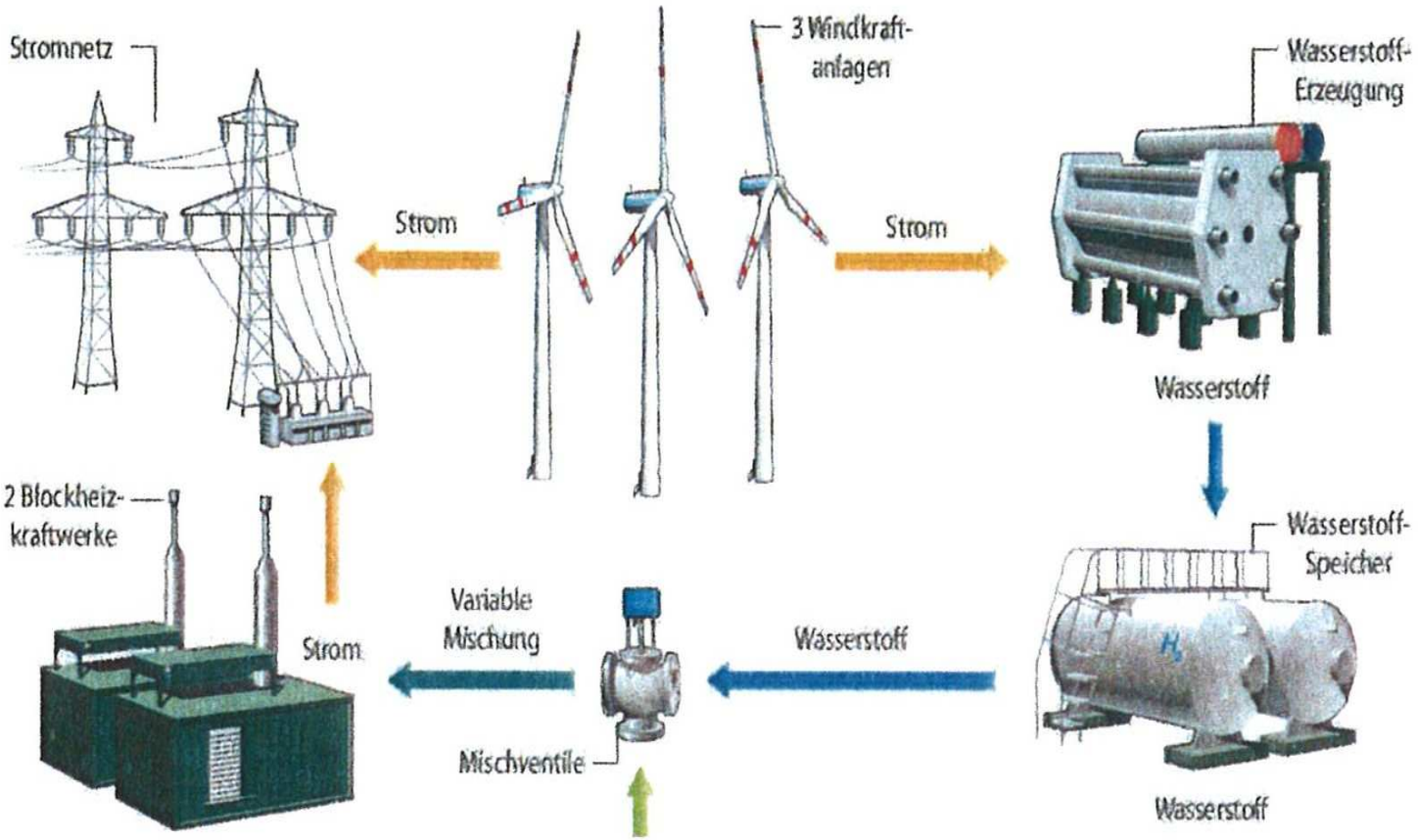
Hier Szenario hohes Windaufkommen: Kraft-Wärme-Kopplung mit Fernwärme ist die optimale Ergänzung zur Stromerzeugung in Windenergieanlagen



Dauerlinie eines Blockheizkraftwerks mit Wärmespeicher

Stadtwerke Gießen

SWG



Windpark in Kombination mit einem Wasserstoffspeicher

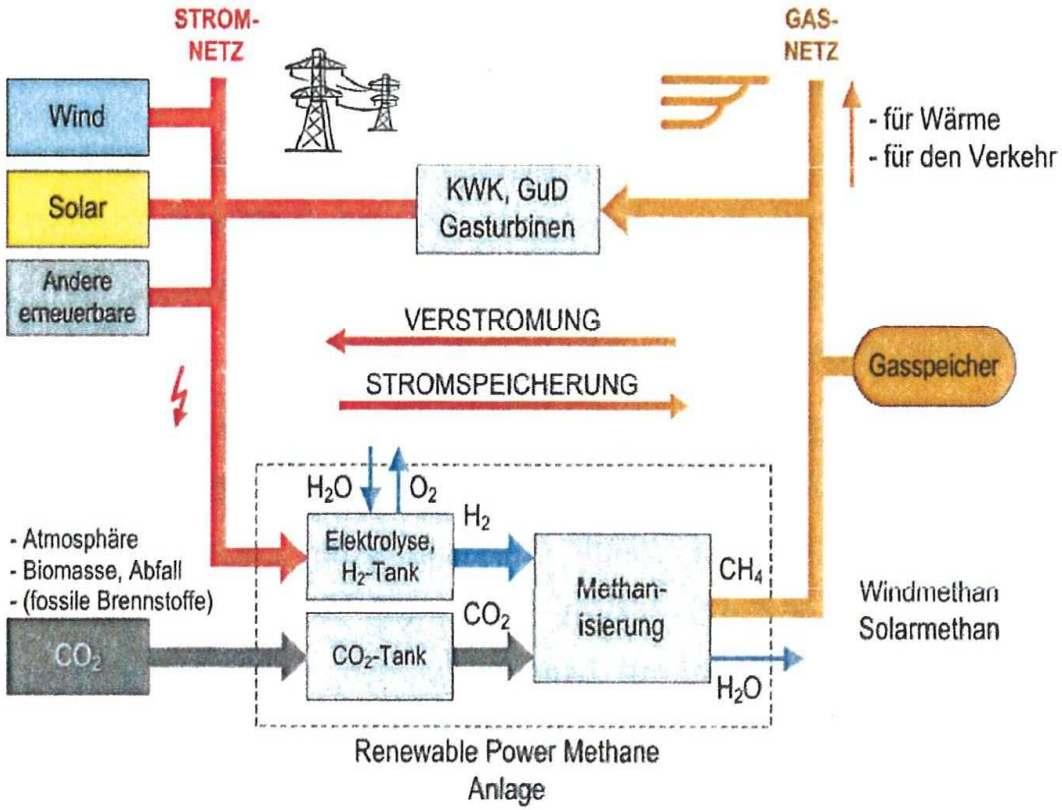
Stadtwerke Gießen

SWG

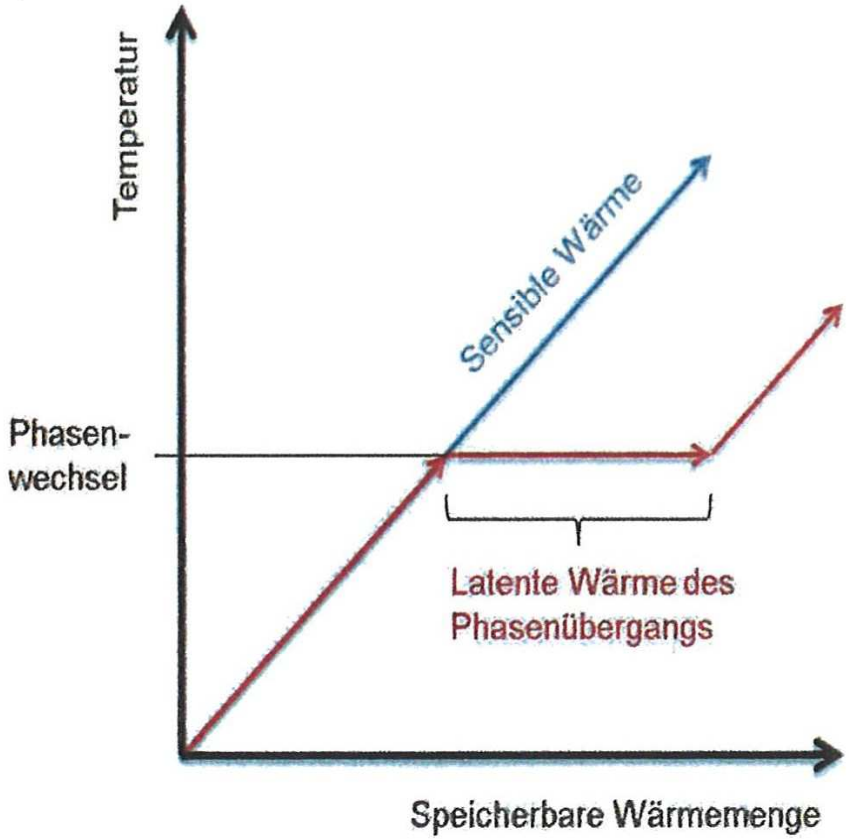
Technische Parameter Wasserstoffspeicher

Wasserstoffsystem	Brennstoffzelle
Druck Elektrolyseur: 0,5 MPa Wirkungsgrad Elektrolyse: 70% Wirkungsgrad Verdichtung: 98% Wirkungsgrad Speicherung: 100% Ruheverluste: 0% Druck Tankanlage: 4,5 MPa Volumen Tank: 73 m^3	Elektrischer Wirkungsgrad: 40% Thermischer Wirkungsgrad: 42%

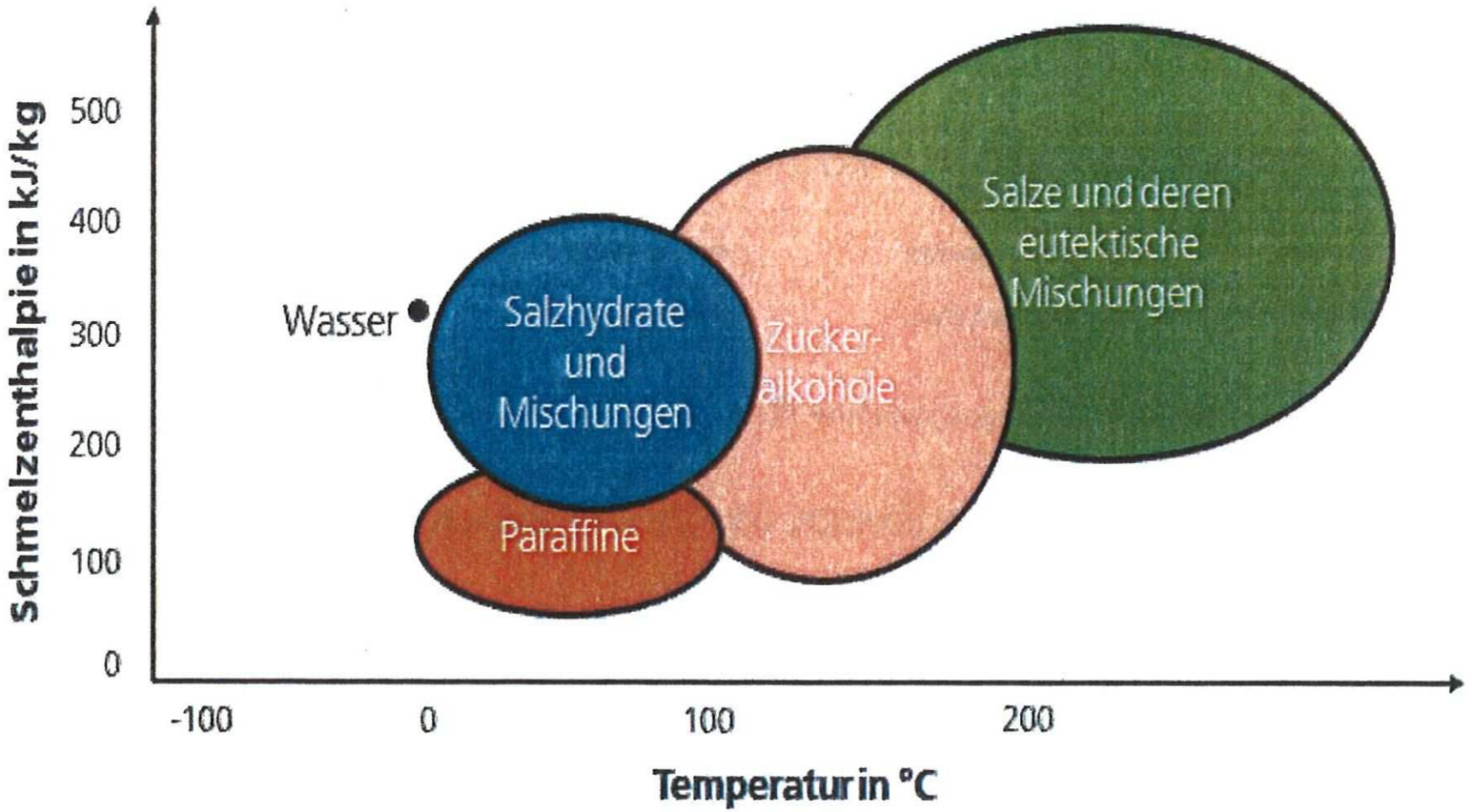
Varianten	Leistung Elektrolyseur [kW_{el}]	Masse Wasserstoff pro Ladevorgang [kg]	Fassungsvermögen Speicher [kWh_{el}]	Leistung Brennstoffzelle [kW_{el}]
Szenario I	250	6 000	15 000	250
Szenario II	500	12 000	30 000	500
Szenario III	1 000	24 000	60 000	1 000



Schema Konversionsverfahren zur Wasserstofferzeugung und Methanisierung aus überschüssigem Strom regenerativer Quellen [Sterner 2011]



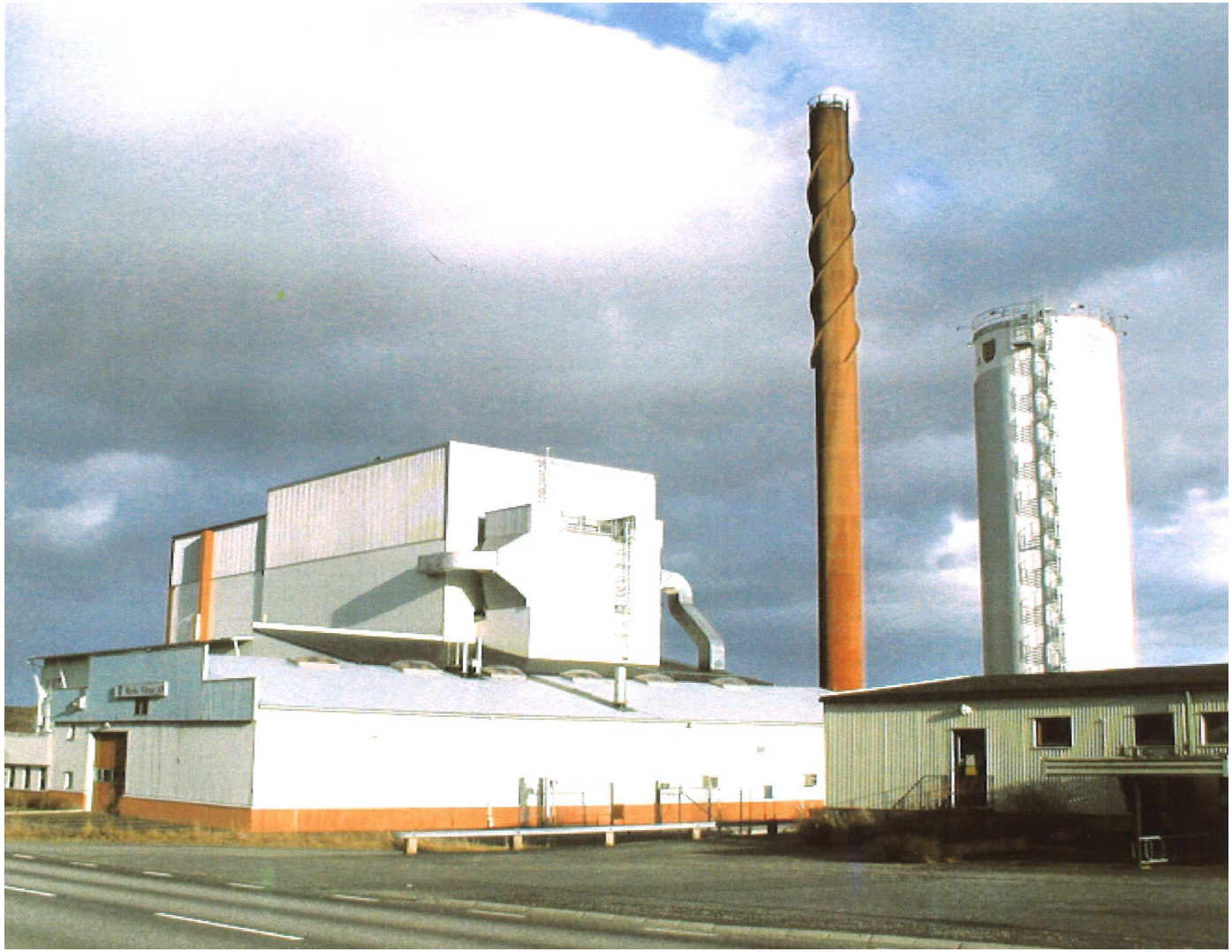
Vergleich der Temperaturverläufe bei sensibler (blau) und latenter (rot) Wärmespeicherung



Übersicht über die gängigsten Materialklassen der Latentwärmespeicher [Leonhardt 2011]

Stadtwerke Gießen

SWG



Aufgabe und Zielsetzung der Elektrizitätsspeicher

Im zukünftigen Betrieb von elektrischen Netzen wird vor allem verlangt, dass in kürzester Zeit hohe elektrische Leistungen in Speicher abgegeben werden können. Die gespeicherte Energie soll mit reduzierter Leistung über einen längeren Zeitraum ins Netz rückgespeist werden können. Somit ist die Flexibilität des Speicherverfahrens und die zeitliche Verfügbarkeit einer Ein- und Ausspeicherleistung ein entscheidendes Kriterium für den Einsatz im zukünftigen Netzbetrieb.

Das hier vorgeschlagene Verfahren der Energiespeicherung nutzt einen thermischen Speicher, in dem die elektrische Energie durch Umwandlung in Wärme mit Ohm'schen Widerständen auf höchstmöglichem Temperaturniveau gespeichert wird. Die Umwandlung in Wärme ist technisch äußerst einfach und ermöglicht eine sehr hohe Einspeiseleistung mit begrenztem finanziellen Aufwand.

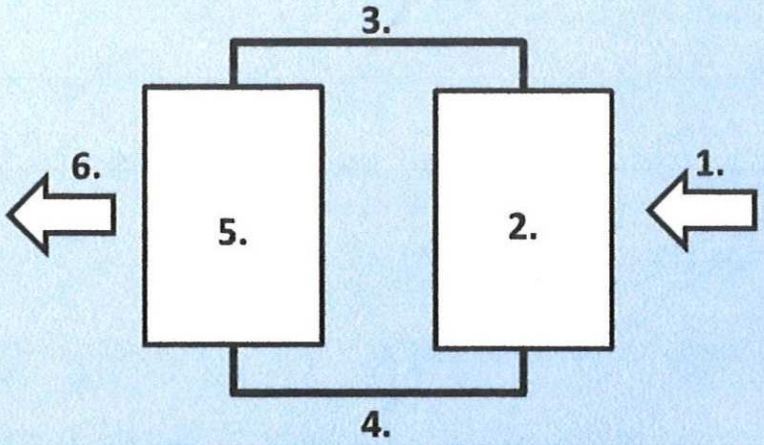
Für die Ausspeisung der gespeicherten Energie wird ein thermischer Kraftwerksprozess betrieben, der die gespeicherte thermische Energie mit größtmöglichem Wirkungsgrad in elektrische Energie umwandelt und diese ins Netz zurückspeist.

Die Bezeichnung als „exergetische Speicherung“ wird abgeleitet aus dem Prinzip der Umwandlung in thermische Energie auf höchstmöglichem Temperaturniveau, verbunden mit einem entsprechend hohen Exergiegehalt.

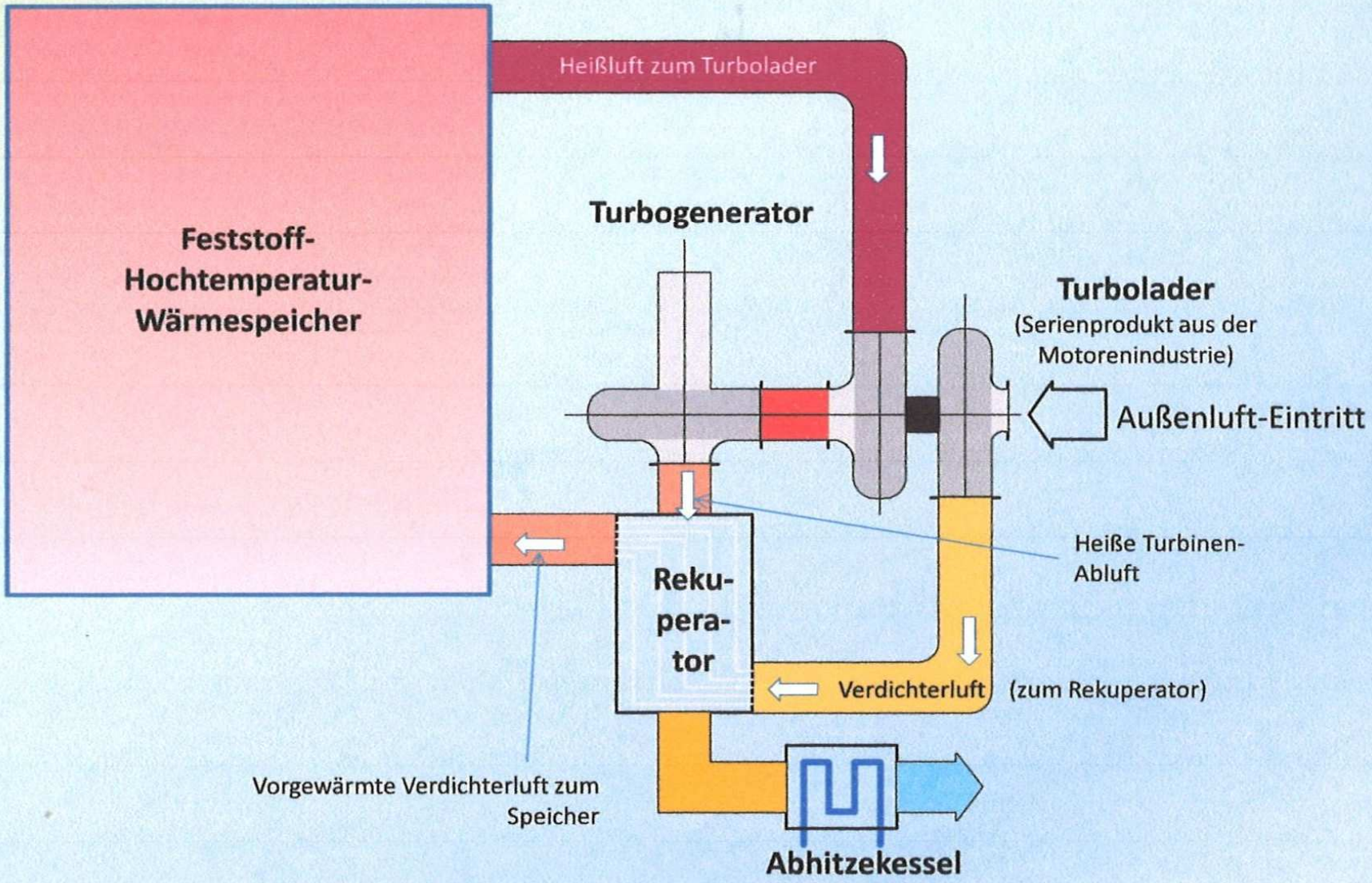
Funktion der Elektrizitätsspeicherung mittels Hochtemperaturspeicher

(DPMA-Aktenzeichen 10 2012 003 267.6 vom 16.02.2012)

1. Speicherladung durch Zuführung von Hochtemperaturwärme aus elektrischer Energie mittels Heizstäben oder Heizdrähten
2. Wärmespeicherung im Hochtemperatur-Feststoffspeicher
3. Entladung durch Wärmetransport der Hochtemperaturwärme an eine Wärme-Kraft-Maschine (WKM) mittels heißem, gasförmigem Fluidstrom
4. Rückführung des abgekühlten Fluidstromes in den Hochtemperaturwärmespeicher während des Entladevorganges
5. Rückverstromung der Hochtemperaturwärme in der Wärme-Kraft-Maschine
6. Abgabe von elektrischer Energie beim Entladen des Speichers



Speicherentladung mit Heißluftturbinenprozeß



Daten für eine Anlage mit ca. 450 kW Entladeleistung

Projektdaten für eine Anlage zum Einsatz in elektrischen Netzen

Speicherdaten

Ladezeit	h	3
t-max	°C	1.070
t-min	°C	830
Gespeicherte Elektriz.	kWh	9.140
Ladeleistung (elektr.)	kW	3.047
Speichermasse	t	169
Speichervolumen	m^3	211
Behälteranzahl		3
D	m	4,2
H	m	5,0
Speicherdruck*	bar	1,006

Rückverstromungsanlage

Entladezeit	h	9
Entladeleistung (therm.)	kW	1.016
Elektrische Leistung	kW	450
Thermische Leistung	kW	329
Elektr. Wirkungsgrad		44%
Therm. Wirkungsgrad		32%
Gesamtwirkungsgrad		77%

*Anmerkung zum Betriebsdruck im Speicher:
Durch Modifikation der Prozeßführung wird der Betriebsdruck im Speicher auf ≤ Umgebungsdruck begrenzt, um die Speicherhülle mechanisch zu entlasten. (Verfahrensablauf gemäß DPMA AZ 10 2013 008 070.3 vom 15.05.2013)

Verfahren	max. Leistung in MW	Lebensdauer in Zyklen	Wirkungsgrad in %	Selbstentladung in %/h	Investition in €/kWh Speicherkapazität	Energiedichte in kWh/t	Typ. Zeit der Entladung bei üblicher Baugröße
Normaler Kondensator	0,01	100 Mio.	95	0,01	200.000	0,03	0,01 s
Superkondensator	0,1	0,5 Mio.	90	0,2	10.000	5	100 s
supraleitende Spule	7	1 Mio	90	?	30–2000	0,03	0,01 s
Schwungrad (Stahl, alte Bauart) 3.000 min^{-1}	15	1 Mio	90	3–20	5000	6	100 s
Schwungrad (aufgewickelter CFK) 80.000 min^{-1}	50	1 Mio	95	0,1–10	1200	50[4]	100 s
Batterie-Speicherkraftwerk (mit Akkumulatoren)	27[5]	<1000	80	0,01	100	30–120	4 h
Pumpspeicherkraftwerk	1060	>1000	80	0	71	0,4	8 h
Druckluftspeicherkraftwerk	290	?	42 –54	?	Pilotanlagen	9	2 h
Wasserstoff	0,2	30.000 h (Brennstoffzelle)	34–62	0,1	Versuchsanlagen	33.300	0,5 h
Methansynthese	> 10.000 [13]	?	30–54	< 0,00001	Versuchsanlagen	14.000	Wochen
Hochtemperatur-Wärmespeicher			40–50	0,01	Versuchsanlagen	100–200	

Die Angaben beziehen sich auf die größten realisierten Anlagen *im Dauerbetrieb*.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Haben Sie Fragen? Wir beantworten sie Ihnen gerne:

Stadtwerke Gießen AG
Lahnstraße 31
35398 Gießen
Telefon 0800 23 02 100*

info@stadtwerke-giessen.de
www.stadtwerke-giessen.de

* kostenfrei aus dem dt. Festnetz und allen dt. Mobilfunknetzen